

## Percepción remota en cultivos de caña de azúcar usando una cámara multiespectral en vehículos aéreos no tripulados

<sup>1</sup>Cesar Edwin García  
<sup>2</sup>Fabio Andrés Herrera

<sup>1,2</sup>Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia – Cenicaña  
Estación Experimental vía Cali-Florida Km. 26, Valle del Cauca - Colombia  
cegarcia@cenicana.org<sup>1</sup>  
faherrera@cenicana.org<sup>2</sup>

**Abstract.** This paper presents an approach for use unmanned aerial vehicle (UAV) in sugarcane crop in Colombia, therefore, was evaluated a quadcopter model *Araknos* with an on-board infrared mini camera ADC-Lite. The study is located in the municipality of Palmira (Colombia – South America) at CIAT experimental fields where there is an experiment of Geomatics area of CENICANA, which consisting of different doses of nitrogen and three sugarcane varieties (CC 85-92, CC 01-1940 and CC 93-4418). The result showed a great potential for the generation of useful mosaics for performing tasks such as digitization or digital photo interpretation. Likewise vegetation indices (NDVI and SAVI) were evaluated, found a high correlation to biomass estimation in sugarcane (TCH<sup>1</sup>) with NDVI  $R^2= 0.7$ . This study has showed that use of UAV are promise for follow up and monitoring sugarcane, providing great detail due to the high spatial resolution, too increasing the temporal resolution and be a possible solution for get images cloud free in countries near the Ecuador.

**Key Words:** UAV (unmanned aerial Vehicle), multi-spectral image, vegetation indices, sugarcane, VANT, Imágenes multiespectral, Indices de vegetación, Caña de azúcar.

### 1. Introducción

El interés reciente de utilizar vehículos aéreos no tripulados, Drones o *UAV*, por su sigla en inglés (*unmanned aerial vehicle*), en el estudio de cultivos agrícolas se debe a gran medida a los grandes beneficios que se obtienen mediante la implementación de ellos. Bajos precios y una logística fácil comparados con productos satelitales, una alta resolución espacial y temporal como la posibilidad de tener información espectral en diferentes regiones (visible, Infrarrojo y Termal) hacen de ellos una gran herramienta para realizar monitoreo y seguimiento en cultivos. Además los productos resultantes son un insumo de primera mano para los estudios aplicados en agricultura de precisión (AP) o en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los beneficios de aplicar esta tecnología en cultivos agricultura se debe que es un sistema eficiente para generar datos e información ideales para el monitoreo y seguimiento de diferentes etapas del ciclo fenológico en cultivos, detectar cambios y realizar medidas indirectas del potencial fotosintético através índices de vegetación.

Estudios con imágenes aéreas infrarrojas durante el periodo crítico de crecimiento de cultivos han sido realizado por Blackmer *et al.* 1996, GopalaPillai e Tian 1999, Scharf e Lory 2002 y Sripada *et al.* 2007 demostrando un gran potencial para determinar el estrés por falta de nitrógeno, cartografiar la variabilidad de los cultivos y realizar recomendaciones en la fertilización.

El monitoreo del cultivo de la caña de azúcar en Colombia mediante el uso de datos remotos es realizado por el Centro de investigación de la Caña de Azúcar de Colombia -

---

<sup>1</sup> TCH: Sugarcane tons per hectare

Cenicafña, mediante el uso de imágenes satelitales especialmente productos del sensor MODIS, imágenes TM/ETM+ Landsat y con espectroradiometria de campo (Murillo e Carbonell, 2012).

Sin embargo, Colombia al estar ubicado geográficamente dentro del frente intertropical, está sujeto de manera permanente a cobertura nubosa lo que ha constituido un limitante para la adquisición oportuna y periódica de imágenes satelitales ópticas. La utilización de estos sistemas Drones puede ser una solución a las dificultades que se tiene al alto porcentaje de nubes que se presenta en las imágenes satelitales aumentando la periodicidad de las tomas (resolución temporal) obteniendo imágenes con alto detalles (resolución espacial).

Debido a ello, este trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial y posibles aplicaciones de UAV para generar mosaicos para la interpretación visual e índices de vegetación (IV) para el monitoreo y seguimientos en el cultivo de la caña de azúcar.

## 2. Metodología de trabajo

El estudio fue realizado en el lote experimental #3 del Centro Internacional de agricultura tropical – CIAT, ubicada en el municipio de Palmira (Valle del Cauca – Colombia) en las coordenadas geográficas  $3^{\circ} 29' 43.62''$  N y Longitud:  $76^{\circ} 21' 49.51''$  W

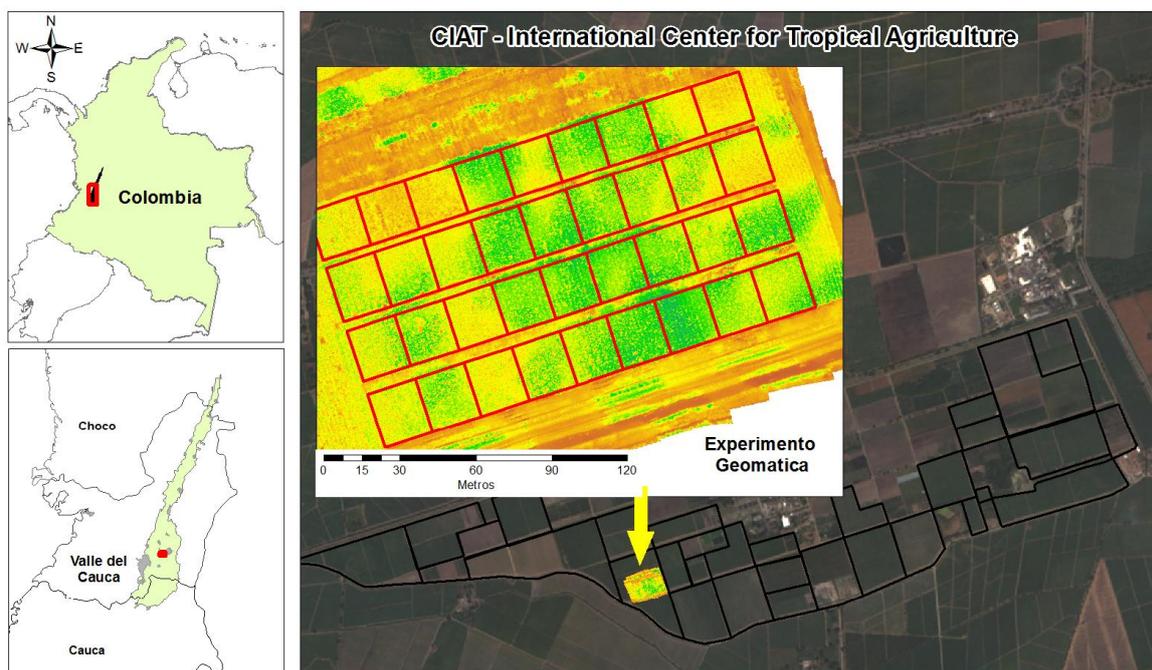


Figura 1. Localización del área de estudio

### 2.1 Plataforma aérea

Se utilizó un vehículo multirrotor tipo cuadricoptero modelo *Araknos* fabricado por la empresa Advector (<http://www.advector.co>). El Vehículo tiene cuatro motores eléctricos, con un peso vacío de 1200 gr, con una dimensión máxima de 620 mm, se trabajó con un piloto automático 3DR Pixhawk. La fuente de energía se obtiene mediante una batería recargable tipo Lithium Polymer (LiPo) de 5000mAh lo que permite una autonomía de vuelo

de aproximadamente 10 min con la carga útil adosada .La estación tierra está conformada por un computador portátil, el software *Mission Planner- Ground Station* de (<http://planner.ardupilot.com>) y un trasmisor/receptor para la telemetría de 900MHz a 100mW.



Figura 2. Vehículo aéreo no tripulado modelo Arknos

## 2.2 Sensor

Para la captura de imágenes se utilizó una cámara ADC lite fabricado por la compañía Tetracam Ind. La ADC lite es una cámara pequeña (6.55 x 4.92 mm), liviana (200 gr), posee un único sensor de 3.2 megapíxeles operando en las longitudes de onda mayores a 520 nm hasta la región del infrarrojo cercano menores a 920nm muy similares a las bandas TM2, TM3 Y TM4 del satélite Landsat, asegurando la obtención de índices de vegetación como el NDVI, SAVI, Green NDVI entre otros.

El almacenamiento de las imágenes se realiza mediante tarjetas de memorias *compact Flash* en formato de 10-Bit DCM sin pérdida de información, 8-Bit y 10-Bit RAW con una distancia focal de 8 mm.



Figura 3. Cámara ADC lite con filtro Infrarrojo.

### 2.3 Diseño experimental

El estudio se realizó sobre un diseño experimental de dos factores: tres variedades de caña en 3 dosis de nitrógeno. Los niveles de cada factor se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Variables del diseño experimental

<b>Variedad</b>	<b>Dosis (Urea)</b>
CC 01-1940	Nula (0kg/h)
CC 85-92	Normal (200 kg/ha)
CC 93 - 4418	Alta (400 kg/ha)

Las variedades seleccionadas son las recomendadas por el programa de mejoramiento de variedades de Cenicaña, debido a su incremento en el área sembrada a nivel comercial y a sus diferencias en la arquitectura y color que permitirán evaluar cambios en los valores de IV<sup>2</sup> e IAF<sup>3</sup>.

De acuerdo a la distribución espacial de materia orgánica se establecieron las dosis adecuadas de N usando el SEF (Sistema experto de fertilización desarrollado por Cenicaña. (<http://www.cenicana.org/aeps/sef.php>), Un total de 36 parcelas en campo divididas en nueve tratamientos construidos de la combinación Variedad x Nitrógeno se analizaron ver tabla 2. El tamaño de la parcela fue de 12 surcos a 1.65 x 20 metros.

Para el momento de la toma de las imágenes el cultivo tenía una edad de 8.5 meses

Tabla 2. Tratamientos experimentales

<b>Variedad</b>	<b>Dosis</b>	<b>Tratamiento</b>
CC 01-1940	0	1
CC 85-92	0	2
CC 93-4418	0	3
CC 01-1940	200	4
CC 85-92	200	5
CC 93-4418	200	6
CC 01-1940	400	7
CC 85-92	400	8
CC 93-4418	400	9

### 2.4 Toma de imágenes

La realización del vuelo se realizó el día 9 de mayo de 2014 entre las 11 am y 1 pm buscando tener la mayor Radiación fotosintéticamente activa o PAR (*photosynthetically active radiation*), las condiciones atmosféricas fueron favorables para el vuelo (poca nubosidad y sin vientos). Para el momento de la toma de las imágenes el cultivo contaba con una edad de 8.5 meses.

<sup>2</sup> IV: Índices de vegetación

<sup>3</sup> IAF: Índice de área foliar

Como se ilustra en la figura 4 antes de realizar el vuelo se deben realizar algunos procedimientos; primero se delimitó el área del experimento con puntos GPS, se verificaron las condiciones de tráfico aéreo, se realizó el plan de vuelo, se verifico las conexiones (a) y el funcionamiento del equipo (b).



Figura 4. Alistamiento de toma aérea con el UAV

### 2.5 procesamiento e interpretación de las Imágenes.

El procesamiento digital de las imágenes se realizó siguiendo la metodología propuesta por García et al. 2014, que consiste en procesar las imágenes crudas (.RAW) en 8-Bit en el software PixelWrench2 ([http://www.tetracam.com/Products\\_PixelWrench2.htm](http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm)), para exportarlas en formatos de tipo TIFF o JPG, posteriormente las imágenes se importan a los aplicativos Autopano (<http://autopano.kolor.com/>) y Hugin (<http://hugin.sourceforge.net/>) para realizar el mosaico. Finalmente la georeferenciación y cálculo de índices de vegetación se realizó en el software ARCGIS 10.2 (<http://www.arcgis.com>)

### 3. Resultados y Análisis

Como se muestra en la figura 5 el mosaico elaborado en falso color R (IR), G(R) y B(G), mostró una buena calidad visual sin saturaciones ni deformaciones causadas en el procesamiento digital, esto demuestra que la metodología aplicada es idónea para trabajos de fotointerpretación o digitalización digital.

La localización de malezas, áreas con necesidad de resiembra, localización de afloramiento rocoso e identificación de bancos de arena pueden ser identificables mediante el empleo de este tipo de mosaicos debido a su alta resolución espacial. Un ejemplo de ello como se muestra en la figura 5 es la localización de malezas (A) zonas con baja germinación de caña en el lote experimental (B) y diferenciación entre diferentes dosis de Nitrógeno (C).

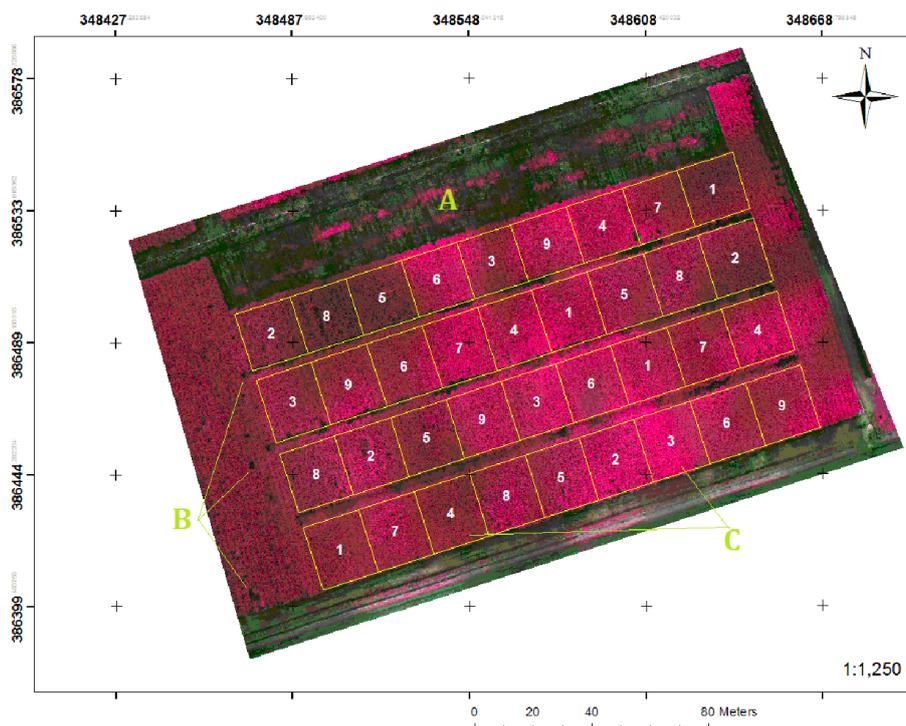


Figura 5. Mosaico georreferenciado en falso color R (IR), G (R) y B (G).

### 3.1 Índices de Vegetación

Se evaluó la calidad de las imágenes infrarrojas capturadas por la cámara ADC lite para generar índices de vegetación y relacionarlo con parámetros biofísicos del cultivo de la caña de azúcar. Para ello se calculo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Ec. 1) (Figura 6a) (Rouse et al., 1973) y el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) (Ec. 2) (Figura 6b) (Huete, 1988).

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad (1)$$

$$SAVI = (NIR - RED)*(L+1)/(NIR + RED + L) \quad (2)$$

Donde NIR = Banda en el infrarrojo, RED = Banda en el Rojo y L= es la constante que ajusta la línea vegetación-suelo al origen que en este estudio se trabajo con valor L=1.

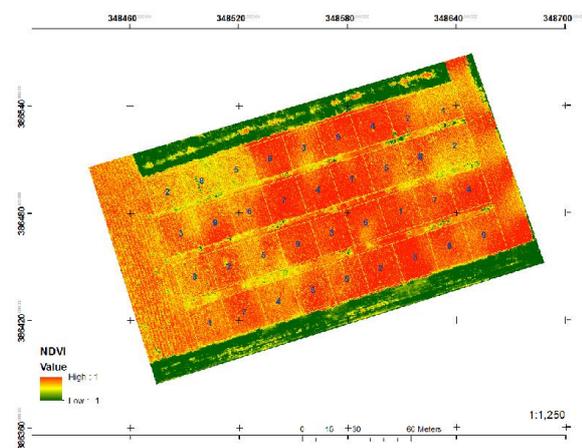


Figura 6a) Índice NDVI

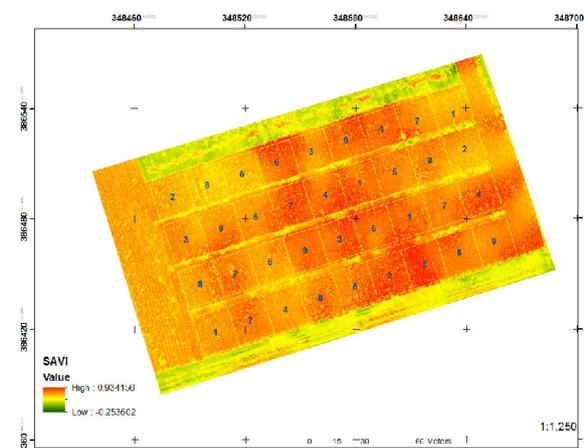


Figura 6b) Índice SAVI

Para validar la calidad de los índices NDVI y SAVI se compararon con IVs de firmas espectrales tomadas con un espectroradiómetro de campo Apogee (300 – 1000 nm). Se generaron 9 curvas depuradas en los 9 tratamientos, esta actividad se realizó un mes antes de la fecha del vuelo.

Igualmente los valores de los IV de la cámara ADC se usaron para determinar si existía una correlación con el contenido de biomasa (TCH). En la tabla 3 se presenta los valores de IV de las imágenes de la cámara ADC, los valores de los IV calculados a partir de firmas espectrales al igual que el total de biomasa (TCH) de cada uno de los nueve tratamientos.

Tabla 3. Índices de vegetación de la cámara ADC, firmas espectrales y Total de Biomasa (TCH)

TRATAMIENTO	NDVI ADC	NDVI	SAVI	SAVI ADC	TCH
1	0.827	0.871	0.582	0.538	217.9
2	0.806	0.889	0.559	0.525	201.5
3	0.846	0.877	0.625	0.587	214.7
4	0.855	0.896	0.577	0.575	241.6
5	0.795	0.880	0.576	0.504	197.1
6	0.844	0.886	0.627	0.576	232.1
7	0.848	0.892	0.604	0.563	257.8
8	0.780	0.901	0.567	0.483	200.0
9	0.844	0.895	0.623	0.567	229.7

Mediante un análisis estadístico entre los índices NDVI y SAVI mostraron una correlación aceptable para el índice SAVI con un  $R^2 = 0.58$  pero una baja correlación para los índices NDVI con un  $R^2$  de 0.01. Una explicación a esta baja correlación se debe a que los valores NDVI son saturados debido a un alto contenido de biomasa mientras que el índice SAVI al tener un ajuste la correlación presenta una mejor correlación.

Para la correlación entre índices de vegetación y contenido de biomasa los índices presentaron un mejor desempeño, la correlación de TCH con el índice SAVI presentó un  $R^2 = 0.52$ , mientras que la correlación con el NDVI fue mayor con un  $R^2 = 0.70$ .

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

El presente trabajo demostró que hay un gran potencial en la utilización del sistema no tripulado (UAV) con sensores infrarrojo en el campo de la percepción remota aplicado al monitoreo e identificación de anomalías en el cultivo de la caña de azúcar.

Igualmente se demostró que las imágenes de la cámara ADC son útiles para generar mosaicos infrarrojos con los cuales se pueden calcular algunos índices de vegetación como el NDVI y SAVI. Además estos índices pueden ser utilizados para estimar el contenido de Biomasa en edades tempranas del cultivo con una correlación de  $R^2 = 0.70$ .

Para futuras aplicaciones es necesario implementar una calibración radiométrica para convertir los ND de las imágenes a valores de reflectancia. Igualmente es importante materializar puntos de control en campo para realizar correcciones geométricas y convertir los mosaicos en ortho-mosaicos.

## 5. Agradecimientos

Los Autores agradecen a la empresa *Advector* por facilitar para esta investigación la cámara ADC Lite y el vehículo aéreo no tripulado Araknos.

## 6. Bibliografía

Blackmer, T.M.; Schepers, J.S.; Varvel, G.E.; Meyer, G.E. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields. *Agron. J.* 1996, 88, 729-733.

Flowers, M.; Weisz, R.; Heiniger, R. Quantitative approaches for using color infrared photography for assessing in-season nitrogen status in winter wheat. *Agron. J.* 2003, 95, 1189-1200.

Garcia, C.E, Herrera, F.A, Erazo, E.O. Metodología básica para la generación de índices de vegetación mediante imágenes multiespectrales aerotransportadas aplicada en cultivos de caña de azúcar. In: XVI Simposio Internacional Selper 2014, Medellin , Selper 2014, Memorias...artículos CD-ROM, On-line. Disponible en: <http://www.selpercolombia2014.com/papers/Sensores-y-plataforma-de-PR/SP29-Metodologia-imagenes-multiespectral-aerea.pdf>. Acceso en: 10 nov 2014.

GopalaPillai, S.; Tian, L. In-field variability detection and spatial yield modeling for corn using digital aerial imaging. *Trans. ASAE* 1999, 42, 1911-1920.

Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25:295-309.

Murillo, P.J, Carbonell-González, J.A.(2012). "Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia" Cenicaña: ISBN: 978-958-8449-03-6 V. 1 Págs. 181.

Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Schell, J. A. and Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. 1:309-317.

Scharf, P.C.; Lory, J.A. Calibrating corn color from aerial photographs to predict sidedress nitrogen need. *Agron. J.* 2002, 94, 397-404.

Sripada, R.P.; Farrer, D.C.; Weisz, R.; Heiniger, R.W.; White, J.G. Aerial color infrared photography to optimize in-season nitrogen fertilizer recommendations in winter wheat. *Agron. J.* 2007, 99, 1424-1435.

Yang, C.; Everett, J.H.; Bradford, J.M.; Escobar, D.E. Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery. *Trans. ASAE* 2000, 43, 1927-1938.